

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Gabriela Pravdić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Hortikultura

**Ocjena kvalitete vermikompostiranog otpada  
sa zelenih javnih površina**

Završni rad

Osijek, 2017.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
POLJOPRIVREDNI FAKULTET U OSIJEKU

Gabriela Pravdić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Hortikultura

**Ocjena kvalitete vermikompostiranog otpada  
sa zelenih javnih površina**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, mentor
2. izv. prof. dr. sc. Brigita Popović, član
3. doc. dr. sc. Vladimir Ivezić, član

Osijek, 2017.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Poljoprivredni fakultet u Osijeku  
Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivrede, studij Hortikultura

Završni rad

Gabriela Pravdić

### Ocjena kvalitete vermikompostiranog otpada sa zelenih javnih površina

**Sažetak:** Vermikompost (lumbripost, biohumus, orbig) je organsko gnojivo proizvedeno mikrobiološkom razgradnjom različitih organskih tvari, najčešće stajskog gnoja kroz probavni sustav kalifornijske gujavice, a u ovom je istraživanju analiziran vermikompost proizveden od ostataka uređivanja i održavanja zelenih javnih površina. Cilj je ovog istraživanja analizirati fizikalna, kemijska i biološka svojstva, te ocijeniti fertilizacijsku vrijednost i ekološku pogodnost vermikomposta. Utvrđena je alkalna pH reakcija i nizak konduktivitet vermikomposta, te povišen C/N odnos, što upućuje na nedovršeno sazrijevanje. Na isti zaključak ukazuju blago povećani  $\text{NH}_4\text{-N/NO}_3\text{-N}$  odnos (0,4) što znači da proces nitrifikacije nije završen, ali i povećani intenzitet disanja ( $3,4 \text{ mg CO}_2/\text{g/dan}$ ) prema kojemu vermikompost nije u najvišoj klasi stabilnosti. Procijenjena fertilizacijska vrijednost vermikomposta je osrednja, prvenstveno zbog osrednje koncentracije N i P, te povećanog C/N odnosa. Međutim, ekološka pogodnost vermikomposta je vrlo visoka jer su utvrđene koncentracije esencijalnih mikroelemenata i toksičnih elemenata značajno niže od MDK, te se vermikompost može bez ograničenja koristiti kao organsko gnojivo, kao komponenta za proizvodnju supstrata, ali i izravno kao supstrat za uzgoj presadnica u konvencionalnoj poljoprivredi.

#### Ključne riječi:

primarna hraniva, mikroelementi, fertilizacijska vrijednost, teški metali, ekološka pogodnost

33 stranice, 8 tablica, 25 literaturnih navoda

**Završni rad je pohranjen:** u Knjižnici Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku

## BASIC DOCUMENTATION CARD

---

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Agriculture in Osijek  
Undergraduate university study Agriculture, course Horticulture

BSc Thesis

### Evaluation of vermicomposted waste from green public areas

**Summary:** Vermicompost (lumbripost, biohumus, orbig) is organic fertilizer produced by microbiological decomposition of different organic substances most commonly manure produced through digestive system of Californian earthworm. In this research, the vermicompost produced out of the remains from arrangement and preservation of the public green surfaces was analysed. The purpose of this research is to analyse the physical, chemical and biological properties and to evaluate fertile potential and ecological suitability of vermicompost. Alkaline pH reaction was defined, low conductivity of vermicompost, increased C/N and  $\text{NH}_4\text{-N/NO}_3\text{-N}$ , which means that the process of nitrification is not finished. The higher intensity of breathing also states that vermicompost is not in the highest class of stability. Estimated fertilizing value of vermicompost is medium, primarily because of the low concentration of N and P, and increased C/N ratio. However, ecological suitability is very high because the established concentration of essential microelements and toxic elements is significantly lower than maximum allowed concentration. Vermicompost can be used as organic fertilizer, as a component in production of substrates, or directly as a substrate for seedlings in conventional agriculture.

#### Keywords:

Basic nutrients, micronutrients, fertilisation value, heavy metals, environmental suitability

33 pages, 8 tables, 25 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agriculture in Osijek and in digital repository of Faculty of Agriculture in Osijek.

## Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Pregled literature.....	6
1.2. Cilj istraživanja.....	10
2. MATERIJAL I METODE.....	11
2.1. Postupak proizvodnje i uzorkovanje vermikomposta.....	11
2.2. Analiza fizikalnih svojstava vermikomposta.....	11
2.2.1. Određivanje postotnog udjela vode i suhe tvari .....	11
2.2.2. Određivanje sadržaja organske tvari i pepela .....	12
2.3. Analiza kemijskih svojstava vermikomposta .....	12
2.3.1. Određivanje pH reakcije .....	13
2.3.2. Određivanje električnog konduktiviteta .....	13
2.3.3. Određivanje sadržaja organskog ugljika.....	13
2.3.4. Određivanje sadržaja ukupnog dušika .....	13
2.3.5. Određivanje C/N odnosa .....	14
2.3.6. Određivanje sadržaja mineralnog dušika (amonijskog i nitratnog dušika) .....	14
2.3.7. Određivanje koncentracije ukupnog fosfora.....	14
2.3.8. Određivanje koncentracija ukupnog K, Ca, Mg i Na .....	14
2.3.9. Određivanje koncentracija esencijalnih i korisnih teških metala (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo i Co).....	15
2.3.10. Određivanje koncentracija štetnih teških metala i metaloida (As, Cr, Cd, Hg i Pb).....	15
2.4. Analiza bioloških svojstava vermikomposta .....	15
2.4.1. Određivanje intenziteta disanja .....	15
3. REZULTATI I RASPRAVA.....	17
3.1. Osnovna fizikalna svojstva vermikomposta .....	17
3.1.1. Postotni udio vode i suhe tvari .....	17
3.1.2. Sadržaj organske tvari i pepela.....	17
3.2. Osnovna kemijska svojstva vermikomposta .....	18
3.2.1. pH reakcija vermikomposta i ostalih organskih gnojiva .....	18
3.2.2. Električni konduktivitet (EC) vermikomposta i ostalih organskih gnojiva.....	19
3.2.3. Sadržaj organskog ugljika .....	19
3.2.4. C/N odnos .....	20
3.2.5. Odnos $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N.....	20
3.2.6. Koncentracije ukupnog P, K, Ca, Mg i Na.....	20

3.2.7. Ukupne koncentracije esencijalnih (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni i Mo) i korisnih (Co) teških metala .....	21
3.2.8. Ukupne koncentracije štetnih teških metala i metaloida (As, Cd, Cr, Hg i Pb) .....	23
3.3. Biološka svojstva.....	25
3.3.1. Intenzitet disanja.....	25
3.4. Ocjena fertilizacijske vrijednosti i ekološke pogodnosti vermikomposta .....	26
3.4.1. Fertilizacijska vrijednost vermikomposta i ostalih organskih gnojiva .....	27
3.4.2. Ekološka pogodnost za gnojidbu i za upotrebu kao supstrat.....	27
4. ZAKLJUČAK.....	29
5. POPIS LITERATURE.....	31

## 1. UVOD

Organska gnojiva su raznovrsne smjese biljnih ostataka, životinjskih ostataka i izlučevina te njihovih prerađevina različitog stupnja razloženosti i stabilnosti, koje koristimo s ciljem unošenja organske tvari i biljnih hraniva u tlo (Lončarić i sur., 2015.). Organska gnojiva vrlo su različita po svojim svojstvima, po načinu nastanka te po svojoj kvaliteti. Različita kvaliteta organskih gnojiva potječe iz stupnja zrelosti, stabilizacije mikrobioloških procesa i raspoloživosti hraniva u organskim gnojivima. Nekoliko je svojstava koja su zajednička svim organskim gnojivima, a to su: sadrže sva hraniva koje biljke trebaju, imaju produžno djelovanje, povećavaju biogenost tla, povećavaju sadržaj organske tvari tla, smanjuju mogućnost ispiranja hraniva i često su jeftinija jer su proizvedena od otpada (Lončarić i sur., 2015.). Organska gnojidba povećava sadržaj organske tvari tla, posebice ako vršimo sustavno višegodišnju organsku gnojidbu. Organska gnojidba ima višestruki učinak na tlo i poljoprivrednu proizvodnju:

1. izravan fertilizacijski učinak dodavanjem različitih količina i odnosa biljci raspoloživih glavnih (N, P, K), sekundarnih (Ca, Mg, S) i mikrohraniva
2. produžni fertilizacijski učinak stvaranjem fonda organske tvari i hraniva koja se postupno mobiliziraju, tj. razlažu u biljci raspoložive oblike
3. kondicionerski učinak popravljanjem svojstava tla: povećana raspoloživost hraniva prisutnih u tlu i prije unošenja gnojiva, povećana učinkovitost mineralnih gnojiva, smanjen učinak teških metala, povećan adsorpcijski kompleks tla, smanjena opasnost ispiranja hraniva, očuvanje humoznosti tla, veća elastičnost tla (Lončarić i sur., 2015.).

Vermikompost (lumbripost, biohumus, orbig) je organsko gnojivo proizvedeno mikrobiološkom razgradnjom različitih organskih tvari, najčešće stajskog gnoja kroz probavni sustav kalifornijske gujavice (*Eisenia foetida*). Uporaba kalifornijske gujavice za razlaganje organske tvari rezultira usitnjavanjem organskog supstrata, ubrzavanjem razgradnje, promjenom fizikalnih i kemijskih svojstava supstrata te konačnim učinkom vrlo sličnom kompostiranju, u kojem nestabilna organska tvar oksidira i aerobno stabilizira (Harstein i Harstein, 1981.). Konačni produkt koji se najčešće naziva vermikompost, vrlo je različit od početne organske tvari, zbog pojačane dekompozicije i humifikacije (Atiyeh i sur.,

2002.). Uz naziv vermikompost, produkt vermikompostiranja naziva se i biohumus ili lumbripost.

Osim navedene definicije vermikomposta, postoji čitav niz definicija samog procesa i produkata vermikompostiranja (Svrze, 2005.):

1. homogena rastresita mješavina djelomično razgrađene organske tvari sa ili bez tla
2. kruti otpad podvrgnut biološkoj razgradnji organske tvari, stabiliziran do te mjere za korištenje za rast biljaka kao kondicioner tla, kao umjetni površinski sloj tla, te kao supstrat za uzgoj presadnica ili u slične svrhe
3. sva biljna ili životinjska organska tvar, sa ili bez dodataka izložena povećanoj temperaturi (40 °C) u smislu aerobne aktivnosti mikroorganizama i određenom stupnju humifikacije organske tvari
4. organski poboljšivač dobiven razgradnjom mješavine koja početno sadrži različite biljne ostatke i organsku tvar životinjskog porijekla, te ima ograničen sadržaj mineralne tvari.

Gotovo sve navedene definicije vermikompostiranja podrazumijevaju kontrolirane uvjete što znači da se procesom upravlja kako bi se ostvario cilj vermikompostiranja. Osnovni ciljevi vermikompostiranja brojnih organskih tvari su (Epstein, 1997.) :

1. kontrolirani uvjeti omogućuju razgradnju organske tvari u stabilno stanje i proizvodnja tvari koje se mogu koristiti kao kondicioneri tla ili u neke druge svrhe
2. dekompozicija organskog otpada u koristan proizvod, vermikompostiranje može biti ekološki isplativije u usporedbi s alternativnim zbrinjavanjem otpada i može biti ekološki prihvatljivije nego konvencionalni načini zbrinjavanja otpada
3. dezinfekcija inficiranog organskog otpada kako bi mogao biti korišten na siguran način.

Vermikompostiranje je vrlo koristan proces jer se proizvodi organsko gnojivo koje je bogato humificiranim tvarima. Proces vermikompostiranja može biti definiran na razne načine:

1. aerobna termofilna razgradnja organske tvari radi proizvodnje vermikomposta
2. biološka razgradnja organskog otpada u kontroliranim uvjetima

3. biološka dekompozicija organske tvari u kontroliranim uvjetima u produkt koji je vrlo sličan humusu bez štetnih i toksičnih tvari
4. kontrolirana aerobna, termofilna, mikrobiološka razgradnja krute organske tvari kao što su stajski gnoj, biljni ostaci, ostaci hrane i njihove mješavine do stabilizirane tvari koja je slična humusu.

Vermikompostiranje je složen proces, te prema US Composting Council postoji 5 različitih tehnologija vermikompostiranja (Thompson, 2001.).

1. Vermikompostni materijal je nezaštićen od vanjskih utjecaja, skupljen na običnu hrpu, pasivan proces koji se odvija bez preokretanja ili drugog tretiranja hrpe, bez podešavanja C/N odnosa, stupnja prozračenosti, vlažnosti i temperature, pH vrijednosti, a vrijeme vermikompostiranja je 12-14 mjeseci.
2. Vermikompostni materijal je nezaštićen od vanjskih utjecaja, pravilno postavljen u dugačkim naslagama nalik na nasipe, aktivan proces koji se odvija s preokretanjem kompostne mase, s konvektivnim prozračivanjem, s početnim podešavanjem C/N odnosa, s kontrolom vlažnosti miješanjem i dodavanjem vode, s kontrolom temperature preokretanjem mase, a vrijeme vermikompostiranja je 2-12 mjeseci.
3. Vermikompostni materijal je zaštićen od vanjskih utjecaja (prekrivanje ili neki drugi način), skupljen na hrpe ili se nalazi u tunelskim prostorima, aktivan proces sa statičnom strukturom vermikompostne mase, s prisilnim prozračivanjem, s početnim podešavanjem C/N odnosa, s kontrolom vlažnosti miješanjem i dodavanjem vode, s kontrolom temperature upuhavanjem zraka, a vrijeme vermikompostiranja je 2-6 mjeseci.
4. Vermikompostni materijal zaštićen je od vanjskih utjecaja (prekrivanje ili neki drugi način). Postavljen je u dugačke ograđene prostore (betonirani, zidani, obloženi prostori), aktivan proces koji se odvija s preokretanjem vermikompostne mase, s mehaničkim prozračivanjem, s početnim podešavanjem C/N odnosa, vlažnost se kontrolira miješanjem i dodavanjem vode, s kontrolom temperature upuhavanjem zraka, a vrijeme vermikompostiranja je 2-5 mjeseci.
5. Vermikompostni materijal je zaštićen od vanjskih utjecaja postavljen je u zatvorene tunele ili komore, aktivan proces koji se odvija s preokretanjem vermikompostne



mase, s prisilnim prozračivanjem, s početnim podešavanjem C/N odnosa, vlažnost se kontrolira miješanjem i dodavanjem vode, s kontrolom temperature upuhavanjem zraka, a vrijeme vermikompostiranja je 2-4 mjeseca.

Na proces vermikompostiranja utječe puno čimbenika, a najvažniji su: temperatura, aeriranost i vlažnost. Ostali značajni čimbenici koji mogu utjecati na kvalitetu vermikompostiranja su: pH reakcija i hraniva, a posebice ugljik i dušik jer su neophodni za mikrobiološku aktivnost i rast. Mikroelementi kao Cu, Ni, Mo, Fe i Zn zatim makroelement Mg i Na, neophodni su za enzimatsku aktivnost, ali njihova uloga u vermikompostiranju je manje poznata.

Temperatura je vrlo značajan čimbenik u procesu vermikompostiranja, ali ona je rezultat mikrobiološke aktivnosti. Dvije faze vermikompostiranja prema razvijenoj temperaturi su: mezofilna faza (10-40 °C) i termofilna (>40 °C) faza, u okviru kojih se mogu razlikovati četiri faze:

1. inicijalna faza (mezofilna),
2. faza porasta temperature (termofilna),
3. faza maksimuma (termofilna),
4. rashlađivanje.

Odgovarajuća koncentracija kisika potrebna je za aerobne procese, minimalna koncentracija je 5 %, a optimalna iznad 10 %. Tijekom početnih faza vermikompostiranja velika je potreba za kisikom jer se vrlo brzo razgrađuje šećer, a u daljnjem procesu potreba za kisikom opada. U uvjetima kada nema dovoljno kisika dolazi do anaerobnih procesa čije su posljedice nakupljanje metana, organskih kiselina i sumporovodika (Lončarić i sur., 2015.).

Tijekom procesa vermikompostiranja važno je voditi brigu o vlažnosti. Vlažnost je neophodna za kemijske reakcije, kretanje hraniva i mikroorganizama. Vermikompostiranje se značajno narušava kada vlažnost padne ispod 40 % jer se time mikrobiološka aktivnost usporava. Porastom vlažnosti iznad 65 % voda istiskuje zrak iz pora i to rezultira stvaranjem anaerobnih džepova. Početna vlažnost u vermikompostnoj masi treba biti iznad 40 % jer vlažnost tijekom vermikompostiranja opada. Optimalna vlažnost je 50-60 %.

Kvalitetu vermikomposta, odnosno organskih gnojiva možemo ocijeniti kao fertilizacijski učinak i ekološku pogodnost. Značajni pokazatelji kvalitete vermikomposta su njegova stabilnost i zrelost. Stabilnost vermikomposta je mjerilo intenziteta i stabilizacije organske

tvori. Tijekom intenzivne razgradnje organske tvari najintenzivnija je mikrobiološka aktivnost i potrošnja kisika te je gnojivo jako nestabilno. Potrošnjom organskog ugljika smanjuje se mikrobiološka aktivnost, potreba za kisikom i izdvajanje CO<sub>2</sub> disanjem mikroorganizama te vermikompost postaje stabilan. Stabilnost se mjeri intenzitetom disanja. Intenzitet disanja služi za ocjenu stabilnosti vermikomposta, odnosno svih organskih gnojiva. Ocjena koja pokazuje da je vermikompost stabilan znači kako neće doći do nastanka razgradnje i povećanja temperature ako zreli vermikompost ponovno aeriramo i podignemo vlažnost do optimuma. Zrelost vermikomposta je mjerilo neutralizacije fitotoksičnosti tijekom sazrijevanja vermikomposta. Stabilan vermikompost ne mora biti dovoljno zreo kako bi smio doći u izravan kontakt sa sjemenom ili korijenom biljke. Amonijski oblik dušika, organske kiseline i drugi međuprodukti razgradnje organske tvari tijekom nekoliko mjeseci sazrijevanja prelaze u stabilne spojeve koji neće spriječiti klijanje, oštetiti korijen ili inhibirati rast biljke. Vrijeme sazrijevanja i stupanj potrebne zrelosti ovise o načinu upotrebe vermikomposta (Lončarić i sur., 2015.). Brojni autori predlažu i biološke analize za ocjenu kvalitete vermikomposta, a neki od njih su istraživali različita fizikalna i kemijska svojstva vermikomposta. Edwards i Burrows (1989.) opisuju vermikompost nalik tresetu, velike poroznosti i vododržjećeg kapaciteta. Vermikomposti u usporedbi s polaznim materijalom sadrže manje topivih soli, veći kationski izmjenjivački kapacitet te sadrže hraniva u oblicima koja su lako pristupačna za biljku poput nitrata, izmjenjivog fosfora, topivog kalija, kalcija i magnezija (Lončarić i sur., 2009.). Zasnovano na fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima vermikomposti imaju mogućnost upotrebe u hortikulturnoj proizvodnji kao medij za uzgoj presadnica povrća i lončanica (Atiyeh i sur., 2002.).

Budući da organska gnojiva utječu na kakvoću tla, brojni su autori ispitivali njihove učinke na dostupnost hranjivih tvari u tlu (Cesoniene i Rutkoviene, 2008.). Različite analitičke metode korištene su za opisivanje vermikompostnih supstrata. Trenutno nema opće prihvaćenog sustava za ocjenu kakvoće organskih gnojiva u Hrvatskoj, iako su kreirani neki modeli za procjenu kvalitete organskih gnojiva (Lončarić i sur., 2009.a,b) s usporedbom kvalitete svježih i vermikompostiranih gnojiva.

## 1.1. Pregled literature

Stabilnost i zrelost su vrlo značajni pokazatelji kakvoće vermikomposta. Stabilnost vermikomposta se može odrediti respirometrijski i ona se odnosi na razinu stabilnosti organske tvari tijekom vermikompostiranja (Iannotti et al., 1993.). Zrelost je najbolje odrediti vegetacijskim (biološkim) pokusima, a ona se odnosi na neograničavanje rasta biljaka u vermikompostnim supstratima (Zucconi et al., 1981.). Brojni autori predlažu razne kemijske i biološke testove za ocjenu kvalitete vermikomposta, a neki od njih su istraživali različita kemijska i fizikalna svojstva vermikomposta.

Edwards i Burrows (1981.) opisuju vermikompost poput treseta, velike poroznosti i vododržjećeg kapaciteta. U poređenju s polaznim materijalom vermikomposti sadrže manju količinu topivih soli, veći kationski izmjenjivački kapacitet i povećan ukupni udio huminskih kiselina (Albanell i sur., 1988.) te sadrže hraniva u oblicima koje biljke lako usvajaju poput nitrata, izmjenjivog fosfora, topivog kalija, kalcija i magnezija (Edwards i Burrows, 1988.). Utvrđeno na tim fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima, vermikomposti imaju značajnu mogućnost upotrebe u hortikulturnoj proizvodnji kao kontejnerski medij (supstrat) za uzgoj presadnica povrća i lončanica (Atiyeh, 2002.).

Tijekom procesa vermikompostiranja dolazi do kemijskih, fizikalnih i bioloških promjena. Voda se gubi, volumen smanjuje, a povećava se sadržaj suhe tvari. Tijekom razgradnje organske tvari dolazi do gubitka organskog ugljika u obliku CO<sub>2</sub> i do povećanja sadržaja pepela. pH vrijednost se povećava ili smanjuje, ovisno o tipu gnojiva, a konduktivitet se povećava što može biti važan čimbenik u proizvodnji biljaka na vermikompostu dobivenom iz gnojiva. C/N odnos se smanjuje, a sadržaj glavnih i sekundarnih hraniva raste.

Vermikompostiranje kao biološki proces obuhvaća aktivnost različitih mikroorganizama koji razgrađuju organsku tvar. Raznolikost mikroorganizama je velika budući da je građa organske tvari složena. Kod temperature -7,5 °C počinje aktivnost psihrofilnih mikroorganizama. Ipak, najvažniji su mezofilni koji djeluju na temperaturi od 25 do 45 °C i termofilni koji razgradnju obavljaju na temperaturama višim od 45 °C. Pojedini autori navode da pri temperaturi od 60 °C prestaje proces vermikompostiranja ili se bitno smanjuje.

Miyataki i Iwabuchi (2005.) proučavaju utjecaj temperature vermikomposta na enzimatsku aktivnost i različitost bakterija u stajskom gnojju. Najveća enzimatska aktivnost

termofilnih bakterija je pri temperaturi od 54 °C. Kada se temperatura poveća na 63 °C jedna vrsta bakterija odumire i smanjuje se različitost vrsta, ali pri temperaturi od 66 °C različitost vrsta se povećava jer se javljaju vrste bakterija koje su prilagođene visokim temperaturama (*Thermus* spp. i *Bacillus* spp.). Pri temperaturi od 70 °C aktivnost ovih vrsta bakterija se povećava, ali ovako visoke temperature smanjuju proces razgradnje organske tvari. Proces razgradnje organske tvari obavljaju gljive, bakterije i aktinomicete (Kuo, 2004.). Bakterije su glavni razlagači za vrijeme aktivne faze vermikompostiranja zbog njihove sposobnosti prilagodbe na različite temperature. Gljive imaju nisku optimalnu temperaturu, a pri temperaturi od 50 °C ih većina ne preživi zbog toga gljive imaju ograničenu ulogu u procesu vermikompostiranja. Aktinomicetama trebaju vlažni, aerobni uvjeti, neutralne ili slabo kisele reakcije, a aktivne su u kasnijim fazama vermikompostiranja. Različite hranjive tvari koje su dostupne tijekom vermikompostiranja uvjetuju razvoj različitih vrsta mikroorganizama. Bakterije koriste hranu niskog C/N odnosa, a gljive širokog C/N odnosa.

Za određivanje stabilnosti i zrelosti organskih gnojiva koriste se nekoliko skupina svojstava (Epstein, 1997.), koje također možemo koristiti za određivanje stabilnosti i zrelosti vermikomposta. Prema Epsteinu (1997.) koriste se sljedeće skupine svojstava:

1. kemijska svojstva: oblici dušika, C/N odnos, KIK, pH, organske kiseline, aktivnost ugljika, organsko kemijski sastav, parametri humifikacije, optička gustoća.
2. fizikalna svojstva: boja, miris, temperatura, fluorescencija, specifična gustoća.
3. mikrobiološka svojstva: promjene u količini mikroorganizama, enzimatska aktivnost i disanje.
4. fitotoksičnost: boja korijena, uzgoj biljaka, klijavost pšenice i raži.

C/N odnos se koristi kao pokazatelj zrelosti jer je važan činitelj mikrobiološke aktivnosti s obzirom da i ugljik i dušik sudjeluju u izgradnji biljne i životinjske stanice. Vermikompost je zreo ako je C/N odnos ispod 20. U literaturi je dosta različitih pristupa ovoj mjeri zrelosti vermikomposta jer C/N odnos varira, brzo se snizi, a kod nekih početnih materijala je već nizak.

Oblici dušika mogu ukazivati na zrelost. Amonijski oblik ( $\text{NH}_4^+$ ) prisutan je na početku procesa razgradnje organske tvari i povećana koncentracija ukazuje na nezrelost vermikomposta, dok je dinamika koncentracije nitratnog oblika dušika ( $\text{NO}_3^-$ ) suprotan proces.

Tijekom procesa vermikompostiranja mijenja se pH vrijednost te je pH reakcija značajan pokazatelj mikrobiološke aktivnosti. pH vrijednost pada u ranijim fazama vermikompostiranja, a zatim raste na 6,5 do 7,5. Istraživači se slažu kako pH nije pouzdan indikator stupnja zrelosti vermikomposta, odnosno organskih gnojiva.

Kationski izmjenjivački kapacitet je mjera sposobnosti anorganskih i organskih čestica da na svojim površinama sorbiraju katione. Bitno je da KIK bude što veći jer to znači da čestice zadržavaju više hraniva koji će biti dostupni biljci. Većina istraživača tvrdi da vermikompostiranje završava porastom KIK-a. Međutim, KIK nije siguran pokazatelj stupnja zrelosti vermikomposta jer kod huminskih supstanci može jako varirati.

Promjene koncentracija organskih kemijskih spojeva kao indikatori zrelosti odnose se na promjene koncentracija polisaharida, masti i voskova. Koncentracija celuloze je u gotovom vermikompostu pouzdan indikator stupnja zrelosti jer se tijekom procesa vermikompostiranja stalno smanjuje.

Parametri humifikacije, poput indeksa humifikacije, koncentracije humina i huminskih te fulvo kiselina često su upotrebljeni kao sigurni indikatori stupnja zrelosti vermikomposta, odnosno organskih gnojiva. Brojni autori predlažu kombiniranje ovih parametara s drugim.

Temperatura je posljedica aktivnosti mikroorganizama za vrijeme procesa vermikompostiranja. U prvih nekoliko dana može doseći 60 °C, a zrenjem vermikomposta opada i postaje sve sličnija okolišnoj. Niska temperatura vermikompostne hrpe bi bila pouzdan indikator zrelosti, ali niska temperatura može biti uzrok lošeg prozračivanja, nedostatne vlažnosti ili inhibicije mikrobiološke aktivnosti kao posljedica visoke temperature ili vlažnosti.

Boja, miris i struktura spadaju u grupu fizikalnih svojstava. Vermikompost koji je zreo ima tamnosmeđu do crnu boju, bez obzira na početni materijal iz kojeg je nastao. Miris šumske zemlje ima porijeklo od dva plina (geosmina i 2-metilizoborneola) koji su produkti aktivnosti gljiva i aktinomiceta. Specifična gustoća kreće se u rasponu od 0,5- 0,9 g/cm<sup>3</sup> i povećava se vermikompostiranjem. Zbog velikog raspona specifična gustoća se ne smatra dobrim indikatorom stupnja zrelosti vermikomposta.

U mikrobiološka svojstva spadaju promjene u količini mikroorganizama, enzimatska aktivnost i disanje. Disanje je količina izdvojenog CO<sub>2</sub>, odnosno količina usvojenog O<sub>2</sub>. Oba podatka govore o mikrobiološkoj aktivnosti i često se koriste za utvrđivanje zrelosti

vermikomposta. Velika razina mikrobiološke aktivnosti rezultira velikom količinom izdvojenog CO<sub>2</sub>, a manja količina pokazuje kako je lako razgradivi ugljik potrošen te je proces vermikompostiranja pri kraju ili završen.

## **1.2. Cilj istraživanja**

Cilj ovog istraživanja bio je:

1. ocijeniti fertilizacijsku vrijednost i ekološku pogodnost vermikomposta proizvedenog od ostataka uređivanja i održavanja zelenih javnih površina,
2. usporediti fertilizacijsku vrijednost i ekološku pogodnost vermikompostiranih otpada sa zelenih površina s drugim organskim gnojivima.

## **2. MATERIJAL I METODE**

### **2.1. Postupak proizvodnje i uzorkovanje vermikomposta**

Početna sirovina za proizvodnju vermikomposta bio je otpad zelenih i drvenastih dijelova biljaka prikupljenih održavanjem javnih zelenih površina. Otpad je kompostiran 2 mjeseca u dugačkim hrpama s povremenim miješanjem, a zatim je korišten kao supstrat za vermikompostiranje uz uporabu kalifornijskih gujavica (*Eisenia foetida*). Kompostište je priređeno na betoniranoj suhoj površini. Inokulacija kompostišta kalifornijskim gujavicama provedena je postavljanjem zrelog vermikomposta s kalifornijskim gujavicama na dno kompostišta u sloju debljine 10-ak cm, a zatim je raspodijeljen polukompostirani biljni otpad sa zelenih javnih površina ukupne širine 3 m, visine 2 m i dužine 20 m. Vermikompost je uzorkovan agrokemijskom sondom i analiziran nakon 2 mjeseca. Prikupljena su dva prosječna uzorka volumena 10 L, a svaki je uzorak sadržavao 50-ak pojedinačnih uzoraka uzorkovanih na dubini 50-80 cm od dna kompostne hrpe.

Radi tumačenja rezultata analiza i usporedbe analiziranih vrijednosti, a posebice fertilizacijske vrijednosti i ekološke pogodnosti, u ovom su radu korišteni rezultati analiza vermikompostiranog goveđeg stajskog gnojiva (Lončarić i sur., 2005.), kao i internih uzoraka Zavoda za agroekologiju Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku (vermikompost br. 3, ovčji stajski gnoj i pureći stajski gnoj).

### **2.2. Analiza fizikalnih svojstava vermikomposta**

Fizikalna svojstva koja su analizirana su: postotni udio vode i suhe tvari, te sadržaj pepela i organske tvari. Uzorci vermikomposta za analizu pripremljeni su prosijavanjem kroz seriju sita promjera otvora 40, 25 i 20 mm (EN, 2007.).

#### *2.2.1. Određivanje postotnog udjela vode i suhe tvari*

Ukupna masa suhe tvari i vode u uzorcima vermikomposta određena je sušenjem 100 g svježe tvari vermikomposta u sušioniku na  $(103 \pm 2)$  °C do konstantne mase (EN, 2007.).



Prema navedenoj normi potrebno je odvagati i sušiti minimalno 50 g svježe tvari. Postotni udio suhe tvari i vode u masi svježeg uzorka izračunati su iz podataka odvage svježe tvari i suhe tvari nakon sušenja, te mase prazne posude za sušenje uzorka.

$$\text{Suha tvar (\%)} = [(m_D - m_T)/(m_W - m_T)] \times 100,$$

$$\text{organska tvar (\%)} = [(m_W - m_D)/(m_W - m_T)] \times 100,$$

pri čemu je:

$m_W$  = masa posude i vlažnog uzorka u g

$m_D$  = masa posude i uzorka nakon sušenja na  $(103 \pm 2)$  °C u g

$m_T$  = masa prazne posude za sušenje uzorka u g.

### 2.2.2. *Određivanje sadržaja organske tvari i pepela*

Ukupni sadržaj organske tvari i pepela određeni su sušenjem 5 g uzorka na  $(103 \pm 2)$  °C tijekom najmanje 4 sata, te sukcesivnim žarenjem uzorka na  $(450 \pm 10)$  °C tijekom najmanje 6 sati (EN, 2011.b). Žarenje je provedeno u peći za žarenje uz prvo vaganje mase uzorka nakon 6 sati, a zatim nakon svakog dodatnog sata žarenja do konstantne mase (kada je razlike dva uzastopna vaganja  $< 0,01$  g).

Postotni udio pepela i organske tvari izražavaju se kao postotni udio u masi suhe tvari uzorak, a izračunati su na slijedeći način:

$$\text{pepel (\%)} = [(m_2 - m_0)/(m_1 - m_0)] \times 100$$

$$\text{organska tvar (\%)} = [(m_1 - m_2)/(m_1 - m_0)] \times 100,$$

pri čemu je:

$m_0$  = masa posude za žarenje (u g)

$m_1$  = masa posude i uzorka nakon sušenja na  $(103 \pm 2)$  °C u g

$m_2$  = masa posude i uzorka nakon žarenja na  $(450 \pm 10)$  °C u g

### 2.3. **Analiza kemijskih svojstava vermikomposta**

U okviru analiza kemijskih svojstava vermikomposta analizirani su pH reakcija, električni konduktivitet, sadržaj ukupnog ugljika i dušika, C/N odnos, odnos amonijskog i nitratnog dušika ( $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  odnos), koncentracija ukupnog P, K, Ca, Mg i Na,

koncentracije esencijalnih i korisnih teških metala Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo i Co, te koncentracije štetnih teških metala i metaloida As, Cr, Cd, Hg i Pb.

#### *2.3.1. Određivanje pH reakcije*

Elektrometrijsko određivanje pH reakcije vrši se pH-metrima koji mjere razliku u električnom potencijalu. Elektrometrijsko određivanje pH vermikomposta izvedeno je prema europskoj normi EN 13037:2011 (EN, 2011.a) u suspenziji 60 ml svježeg uzorka mućkanog na treskalici 1 sat u 300 ml deionizirane vode, tj. u volumnom omjeru 1:5 (uzorak:voda).

#### *2.3.2. Određivanje električnog konduktiviteta*

Određivanje električnog konduktiviteta izvedeno je prema europskoj normi EN 13038:2009 (EN, 2009.) u suspenziji 60 ml svježeg uzorka mućkanog na treskalici 1 sat u 300 ml deionizirane vode, tj. u volumnom omjeru 1:5 (uzorak:voda). Određivanje električnog konduktiviteta se provodi kako bi se dobio pokazatelj sadržaja elektrolita topivih u vodi u analiziranom uzorku.

#### *2.3.3. Određivanje sadržaja organskog ugljika*

Sadržaj ukupnog ugljika određen je razaranjem mokrim postupkom: 50 mg suhog uzorka odvagano je u kivete za razaranje, preliveno s 5 ml  $0.27 \text{ mol dm}^{-3}$   $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  i 7,5 ml koncentrirane  $\text{H}_2\text{SO}_4$  i razarano 1/2 sata u bloku za razaranje na  $135^\circ\text{C}$ , kvantitativno preneseno u odmjerne tikvice, dopunjeno do 100 ml deioniziranom vodom, presipano u epruvete za centrifugiranje, centrifugirano 10 minuta na 2000 g, filtrirano i mjereno spektrofotometrom na 585 nm uz kalibraciju standardnim otopinama glukoze (Svrze, 2005.).

#### *2.3.4. Određivanje sadržaja ukupnog dušika*

Određivanje dušika temelji se na razaranju uzorka pomoću smjesa kiselina prilikom čega organska tvar oksidira do ugljikovog dioksida, a dušik koji se oslobodi razaranjem uzorka, nakon dodavanja natrijevog hidroksida, predestilira se kao amonijak u predložak s

kiselinom poznate koncentracije. Iz utroška kiseline izračuna se količina dušika u analiziranom uzorku (EN, 2003).

#### *2.3.5. Određivanje C/N odnosa*

C/N odnos izračunat je pomoću podataka ukupnog ugljika u suhoj tvari i ukupnog dušika u svježoj tvari prema formulama (Svrze, 2005.):

$$\% \text{ C u svježoj tvari} = (\% \text{ C u suhoj tvari} \times \% \text{ suhe tvari}) \div 100$$

$$\text{C/N} = \% \text{ C u svježoj tvari} \div \% \text{ N u svježoj tvari}$$

#### *2.3.6. Određivanje sadržaja mineralnog dušika (amonijskog i nitratnog dušika)*

Sadržaj mineralnog (amonijskog i nitratnog + nitritnog) dušika određen je destilacijom svježeg uzorka u vodi uz dodavanje MgO i Devardove legure prema metodi EN 13652:2001 (EN, 2001., Beline i Martinez, 2002., Moldes i sur., 2007.) Dušik u amonijskom obliku utvrđen je u 10 g svježeg uzorka prelijevanog s 25 ml deionizirane vode uz dodatak magnezijevog oksida. Uzorak je destilirani u smjesu 2% borne kiseline i indikatora (mješavina metilcrvenog i bromkrezol zelenog otopljena u 95% etilnom alkoholu) i titriran 0.005 mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> do trenutka kada prelazi iz zelene u ružičastu boju. Izražen je kao g/kg N (g/kg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) u suhoj tvari (Vukobratović, 2008). Nitratni oblik dušika određen je u ostatku uzorka uz dodatak Devardove legure, destilirani i titriran na isti način kao i amonijski oblik dušika i izražen u g/kg N u suhoj tvari (g/kg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N).

#### *2.3.7. Određivanje koncentracije ukupnog fosfora*

Određivanje fosfora temelji se na izgradnji obojenog fosfor-molibdenskog kompleksa. Intenzitet razvijene boje određuje se spektrofotometrom. Osnovna otopina uzorka vermikomposta za određivanje koncentracije P pripremljena je razaranjem suhog uzorka digestijom pepela dušičnom i klorovodičnom kiselinom (Thompson, 2001.).

#### *2.3.8. Određivanje koncentracija ukupnog K, Ca, Mg i Na*

Koncentracije alkalnih i zemnoalkalnih metala određuju se pomoću osnovne otopine koja je pripremljena razaranjem suhog uzorka digestijom pepela dušičnom i klorovodičnom

kiselinom (Svrze, 2005.). Koncentracija ukupnog kalija, kalcija, magnezija i natrija određena je mjerenjem u osnovnoj otopini pomoću induktivno spregnute plazme optičkom emisijskom spektrometrijom (ICP-OES). Koncentracije navedenih elemenata prikazane su u g/kg suhe tvari vermikomposta.

#### *2.3.9. Određivanje koncentracija esencijalnih i korisnih teških metala (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo i Co)*

Za određivanje koncentracije mikroelemenata Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo i korisnog teškog metala Co korištena je osnovna otopina koja je pripremljena razaranjem suhog uzorka digestijom zlatotopkom (Thompson, 2001.). Koncentracije teških metala u osnovnoj otopini određene su mjerenjem u osnovnoj otopini pomoću induktivno spregnute plazme optičkom emisijskom spektrometrijom (ICP-OES). Koncentracije navedenih elemenata izražene su u mg/kg suhe tvari vermikomposta.

#### *2.3.10. Određivanje koncentracija štetnih teških metala i metaloida (As, Cr, Cd, Hg i Pb)*

Pri određivanju koncentracija štetnih teških metala i metaloida (As, Cr, Cd, Hg i Pb) osnovna otopina uzorka vermikomposta pripremljena je razaranjem suhog uzorka digestijom zlatotopkom (Thompson, 2001.). U osnovnoj otopini pomoću induktivno spregnute plazme optičkom emisijskom spektrofotometrijom (ICP-OES) određena je koncentracija štetnih teških metala i metaloida. Koncentracije elemenata izražene su u mg/kg suhe tvari vermikomposta.

### **2.4. Analiza bioloških svojstava vermikomposta**

U okviru analiza bioloških svojstava vermikomposta utvrđen je intenzitet disanja vermikomposta.

#### *2.4.1. Određivanje intenziteta disanja*

Intenzitet disanja određen je hvatanjem ugljikovog dioksida izdvojenog mikrobiološkom aktivnošću. Pri određivanju korišteni su svježi uzorci mase 50 g nakon

dvodnevne inkubacije na sobnoj temperaturi (oko 25 °C) prema metodi TMECC 05.08-B (Thompson, 2001.). Uzorci su vagani u hermetički zatvorene boce volumena 0,5 L u kojima se, uz uzorak, nalazio predložak sa 20 ml 1 M NaOH. Boce s uzorcima stavljene su u komoru na 34 °C kroz četiri dana. Uzorci su analizirani u paralelama, a za slijepu probu korišten je žareni kremen pijesak. Nakon isteka propisanog vremena u predložak je dodano 5 ml 20% BaCl<sub>2</sub> i izvršena titracija preostale lužine pomoću 1 M HCl. Rezultat je prikazan u mg CO<sub>2</sub>-C/g organske tvari komposta/dan (Vukobratović, 2008.).

### 3. REZULTATI I RASPRAVA

#### 3.1. Osnovna fizikalna svojstva vermikomposta

Fizikalna svojstva koriste se pri ocjenjivanju kvalitete vermikomposta. Analizirana su sljedeća fizikalna svojstva (tablica 1): postotni udio vode i suhe tvari, te sadržaj organske tvari i pepela.

**Tablica 1.** Osnovna fizikalna svojstva analiziranih organskih gnojiva

Oznaka uzorka	% vode	% suhe tvari	% organske tvari	% pepela
Vermikompost	47,50	52,50	35,45	64,55
Vermikompost br. 2 (Lončarić i sur., 2005.)	59,88	40,12	82,15	17,85
Vermikompost br. 3 (interni uzorak)	42,83	57,17	37,73	62,27
Ovčji stajski gnoj (interni uzorak)	65,57	34,43	54,14	45,86
Pureći stajski gnoj (interni uzorak)	49,88	50,12	83,58	16,42

##### 3.1.1. Postotni udio vode i suhe tvari

U analiziranom uzorku vermikomposta izmjereno je 47,50 % vode i 52,50 % suhe tvari, što je prikazano u tablici 1. Izmjerena vlažnost je u prihvatljivom rasponu za organska gnojiva (Lončarić i sur., 2015.), kako za početak procesa kompostiranja (optimalan raspon 50-60 %) i vermikompostiranja, tako i za zrela i stabilna organska gnojiva. Izmjerena vlažnost je vrlo slična vlažnosti purećeg stajskog gnoja, no nešto veća od vlažnosti vermikomposta br. 3, a manja nego vlažnost vermikomposta br. 2 i ovčjeg stajskog gnoja. Razlike u vlažnostima izmjerenih uzoraka nemaju veliku značajnu fertilizacijsku vrijednost jer je to promjenjivo svojstvo pod utjecajem vanjskih činitelja.

##### 3.1.2. Sadržaj organske tvari i pepela

Sadržaj organske tvari je 35,45 %, što znači da je gotovo dvostruko veći sadržaj pepela (mineralne tvari). Podaci različitih vermikomposta i organskih gnojiva u tablici 1 ukazuju na varijabilnost sadržaja organske tvari i pepela. Uzorak vermikompost br. 3 ima

sličan sadržaj pepela kao i uzorak vermikompost, dok uzorak vermikompost br. 2 ima 4 puta više organske tvari nego pepela, slično purećem stajskom gnoju.

### 3.2. Osnovna kemijska svojstva vermikomposta

Analizirana su različita kemijska svojstva vermikomposta uključujući pH reakciju i električni konduktivitet (tablica 2), sadržaj ukupnog ugljika i dušika, C/N odnos i odnos amonijskog i nitratnog dušika (tablica 3), koncentracije ukupnog P, K, Ca, Mg i Na (tablica 4), koncentracije esencijalnih i korisnih teških metala Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo i Co (tablica 5), te koncentracije štetnih teških metala i metaloida As, Cr, Cd, Hg i Pb (tablica 6). Kemijska svojstva koriste se pri ocjenjivanju kvalitete vermikomposta, npr. odnos amonijskog i nitratnog dušika u zrelom vermikompostu bi trebao biti manji od 0,16 jer u zrelom vermikompostu treba biti više nitratnog nego amonijskog oblika dušika.

**Tablica 2.** pH reakcija i električni konduktivitet (EC) analiziranih organskih gnojiva

Oznaka uzorka	pH reakcija	EC mS/cm
Vermikompost	8,83	0,737
Vermikompost br. 2 (Lončarić i sur., 2005.)	7,02	1,070
Vermikompost br. 3 (interni uzorak)	7,81	0,910
Ovčji stajski gnoj (interni uzorak)	9,12	2,070
Pureći stajski gnoj (interni uzorak)	6,73	7,310

#### 3.2.1. pH reakcija vermikomposta i ostalih organskih gnojiva

pH utječe na različita svojstva vermikomposta, uključujući raspoloživost hraniva i toksičnih tvari te mikrobiološku aktivnost. Optimalni pH vermikomposta je 6,5-8,0. U analiziranom vermikompostu utvrđena je pH reakcija 8,83. Izmjerena pH vrijednost je povišena što ukazuje na alkalnu reakciju. Povišen pH može biti posljedica povišenog odnosa  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ili je povećan udio alkalnih (K, Na) i zemnoalkalnih (Ca i Mg) kationa. Izmjerena pH vrijednost je veća od vrijednosti vermikomposta br. 2, vermikomposta br. 3, i purećeg stajskoj gnoja, ali je manja od pH vrijednosti purećeg stajskog gnoja (tablica 2), koji ima znatno veći  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  odnos, niže koncentracije Ca i Mg, ali veće koncentracije K i Na.

### 3.2.2. Električni konduktivitet (EC) vermikomposta i ostalih organskih gnojiva

Konduktivitet (EC) je pokazatelj sadržaja topivih soli i mijenja se zbog količine i vrste iona u otopini. Nizak konduktivitet može značiti manju plodnost gnojiva ili supstrata, a visoki konduktivitet može značiti fitotoksičnu koncentraciju topivih soli i otežati usvajanje hraniva. Izmjerena vrijednost konduktiviteta je 0,737, što znači da je vrijednost niska te ukazuje na manji udio topivih soli i ne ukazuje na povećani rizik fitotoksičnosti. Vrijednost konduktiviteta nije na razini fitotoksičnosti i ne očekuje se fitotoksičan učinak na osjetljive biljne vrste. Vrijednost konduktiviteta je manja od svih izmjerenih vrijednosti u gnojivima koja su korištena za usporedbu s vermikompostom (vrijednosti prikazane u tablici 2).

### 3.2.3. Sadržaj organskog ugljika

Tijekom procesa vermikompostiranja dolazi do opadanja sadržaja organskog ugljika. Pad sadržaja je normalna posljedica razgradnje organske tvari jer se dio ugljika gubi u obliku CO<sub>2</sub> kao konačan produkt razgradnje organske tvari. Sadržaj organskog ugljika utječe na C/N odnos jer je manji C/N odnos indikator zrelosti vermikomposta.

Sadržaj organskog ugljika u analiziranim uzorcima prikazan je u tablici 3. Najveći sadržaj organskog ugljika nalazi se u uzorku pureći stajski gnoj (326 g/kg) što indicira i veći C/N odnos, a time i nezrelije organsko gnojivo. Nakon uzorka pureći stajski gnoj po sadržaju organskog ugljika slijedi uzorak vermikompost br. 2 (246 g/kg). Zatim ovčji stajski gnoj (218 g/kg), a najmanji sadržaj organskog ugljika je u uzorku vermikompost br. 3. Zbog toga bi mogli pretpostaviti da će uzorak vermikompost br. 3 imati niži C/N odnos i biti zrelije organsko gnojivo. Međutim, vermikompost br. 3 ima također i znatno manji sadržaj N te C/N odnos nije najniži u usporedbi s ostalim gnojivima (tablica 3).

**Tablica 3.** Sadržaj organskog ugljika i ukupnog dušika, C/N odnos i odnos NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

Oznaka uzorka	Organski C (g/kg)	Ukupni N (g/kg)	C/N odnos	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N odnos
Vermikompost	158,0	2,93	53,87	0,40
Vermikompost br. 2 (Lončarić i sur., 2005.)	246,0	23,20	10,60	-
Vermikompost br. 3 (interni uzorak)	150,0	6,96	21,55	0,05
Ovčji stajski gnoj (interni uzorak)	218,0	7,08	30,81	0,16
Pureći stajski gnoj (interni uzorak)	326,0	23,97	13,60	88,57



### 3.2.4. C/N odnos

C/N odnos utječe na intenzitet vermikompostiranja jer nedostatak N (širok C/N odnos) produžuje proces vermikompostiranja, a nedostatak C (uzak C/N odnos) onemogućuje stabilizaciju N i za posljedicu ima značajne gubitke N u amonijskom obliku. C/N odnos u vermikompostu je 53,87 i indicira jako nezrelo gnojivo pa možemo zaključiti da sazrijevanje vermikomposta nije dovršeno jer je vermikompost zrelo ako je C/N odnos  $<20$ . Uzorak vermikompost br.3 je vrlo blizu zrelosti jer je C/N odnos vrlo blizu 20 (21, 55) što označava gotovo zrelo gnojivo. C/N odnos je vrlo nizak u uzorcima vermikompost br. 2 (10,60) i pureći stajski gnoj (13,60) zbog čega bismo mogli zaključiti da su ta gnojiva potpuno zrela, što ipak nije slučaj kod purećeg stajskog gnojiva zbog vrlo visokog  $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N odnosa. U uzorku ovčji stajski gnoj C/N odnos je (30,81) što je značajno iznad 20 i karakteristika je nezrelog gnojiva.

### 3.2.5. Odnos $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N

$\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N odnos je pokazatelj stupnja zrelosti vermikomposta. Odnos bi u zrelom vermikompostu trebao biti manji od 0,16 i takav odnos pokazuje da je proces nitrifikacije završen jer je tada znatno više nitrarnog oblika dušika nego amonijskog. U analiziranom uzorku vermikomposta  $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N odnos je 0,40 što je ipak iznad 0,16 i to indicira da proces nitrifikacije nije završen i vermikompost nije zrelo gnojivo. U provedenom je istraživanju utvrđeno da su ovčji stajski gnoj i vermikompost br. 3 zrela organska gnojiva jer je utvrđen nizak  $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N odnos (0,16 i 0,05). S druge strane, u purećem stajskom gnojivu utvrđen je vrlo visok  $\text{NH}_4^+$ -N/ $\text{NO}_3^-$ -N odnos (88,57) što znači da je to gnojivo nezrelo unatoč relativno niskom C/N odnosu (13,6).

### 3.2.6. Koncentracije ukupnog P, K, Ca, Mg i Na

U uzorku vermikomposta najviše je Ca (54,84 g/kg), nakon Ca slijedi Mg (22,75 g/kg), zatim K (14,33 g/kg), P (3,56 g/kg) te Na kojeg je najmanje (0,58 g/kg). Odnos kalija i fosfora je 4:1. U uzorku purećeg stajskog gnojiva najviše je P (23,36 g/kg), a u uzorku vermikomposta najmanje je P (3,56 g/kg). U uzorku purećeg stajskog gnojiva najviše je K (32,19 g/kg), a u uzorku vermikomposta br. 2 K je najmanje (6,13 g/kg). U uzorku

vermikomposta nalazi se najviše Ca (54,84 g/kg), a u uzorku vermikompost br. 2 nalazi se najmanje Ca (10,00 g/kg). U uzorku vermikomposta najviše je Mg (22,75 g/kg), a u uzorku purećeg stajskog gnojiva najmanje je Mg (6,00 g/kg). U uzorku purećeg stajskog gnojiva nalazi se najviše Na (3,69 g/kg), a u uzorku vermikompost br. 3 je najmanje Na (0,62 g/kg).

**Tablica 4.** Koncentracije ukupnog P, K, Ca, Mg i Na u analiziranim organskim gnojivima

Oznaka uzorka	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)
Vermikompost	3,56	14,33	54,84	22,75	0,58
Vermikompost br. 2 (Lončarić i sur., 2005.)	11,25	6,13	10,00	8,55	-
Vermikompost br. 3 (interni uzorak)	14,87	8,93	39,60	13,65	0,62
Ovčji stajski gnoj (interni uzorak)	7,45	31,82	38,53	12,51	1,21
Pureći stajski gnoj (interni uzorak)	23,36	32,19	25,71	6,00	3,69

### 3.2.7. Ukupne koncentracije esencijalnih (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni i Mo) i korisnih (Co) teških metala

Koncentracije esencijalnih i korisnih elemenata u vermikompostu se srednje (Mn, Zn, Cu, Ni, Mo) i visoke (Fe). Koncentracije esencijalnih i korisnih elemenata nisu iznad propisanih maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK). Niz utvrđenih koncentracija kreće se očekivano:

$$\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Mo}$$

Koncentracija Fe je visoka (1,9 %) i predstavlja koristan izvor za ishranu bilja. Nešto manja koncentracija Fe zabilježena je u uzorku vermikompost br. 3 (13,8 g/kg). Znatno manje koncentracije Fe su u uzorcima vermikompost br. 2 (9,5 g/kg) i ovčjem stajskom gnoju (7,8 g/kg). Najmanju koncentraciju Fe sadrži uzorak pureći stajski gnoj (1,17 g/kg).

Mangan (Mn) je drugi u nizu teških metala u analiziranom uzorku vermikomposta čija koncentracija iznosi (418 mg/kg). Nešto veća koncentracija Mn izmjerena je u uzorku purećeg stajskog gnojiva (437 mg/kg). U uzorku vermikompost br. 3 je najveća izmjerena koncentracija Mn (677 mg/kg) što i dalje ne predstavlja problem jer Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014) nisu propisane MDK za poljoprivredna tla i organska gnojiva. Manje koncentracije Mn sadrže uzorci vermikompost br. 2 (354 mg/kg) i ovčji stajski gnoj (259 mg/kg).

Izmjerena koncentracija Zn u uzorku vermikomposta iznosi 106 mg/kg što je ispod MDK (200 mg/kg) te se može koristiti izravno kao supstrat, kao organsko gnojivo ili sastavnica za proizvodnju supstrata. Zatim slijedi ovčji stajski gnoj gdje koncentracija Zn iznosi 166 mg/kg. Uzorci vermikompost br. 2, vermikompost br. 3 te pureći stajski gnoj mogu se koristiti kao organsko gnojivo ili kao komponenta za proizvodnju supstrata, ali se ne mogu koristiti izravno kao supstrati jer njihove koncentracije Zn prelaze MDK vrijednost, tj. 200 mg/kg (tablica 5).

Koncentracija Cu je najveća u uzorku pureći stajski gnoj (452 mg/kg) što je iznad MDK (120 mg/kg) te nije pogodan za izravnu upotrebu kao supstrat, ali je pogodan za upotrebu kao organsko gnojivo ili sastavnica za proizvodnju supstrata. U ostalim uzorcima koncentracije Cu ne prelaze vrijednosti MDK. Prema koncentracijama koje su prikazane u tablici 5, ostali uzorci mogu se koristiti izravno kao supstrat, kao organsko gnojivo ili kao sastavnica za proizvodnju supstrata.

Kobalt (Co) je koristan element za biljke i stoga je u fertilizacijskom smislu svrstan u grupu mikroelemenata. Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014) nisu propisane maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) za poljoprivredna tla i organska gnojiva, te su koncentracije Co zbog toga tumačene prema MDK vrijednostima (50 mg/kg) u starom Pravilniku (NN 15/1992). Koncentracija Co u analiziranom uzorku vermikomposta je najveća i iznosi (6,92 mg/kg) što je znatno ispod MDK, slijedi vermikompost br. 3 gdje koncentracija Co iznosi 5,31 mg/kg, te ovčji stajski gnoj (3,33 mg/kg). Najmanju koncentraciju Co sadrži pureći stajski gnoj (0,65 mg/kg). Prema izmjerenim koncentracijama svi analizirani uzorci mogu se koristiti izravno kao supstrat, kao organsko gnojivo ili kao sastavnica za proizvodnju supstrata.

Koncentracije Ni u analiziranim uzorcima su značajno ispod MDK (75 mg/kg) jer je najveća izmjerena koncentracija svega 27 mg/kg (tablica 5). Prema izmjerenim koncentracijama Ni svi analizirani uzorci mogu se koristiti izravno kao supstrat, kao organsko gnojivo ili kao sastavnica za proizvodnju supstrata.

Molibden (Mo) pripada skupini mikroelemenata jer ima esencijalnu ulogu u ishrani bilja, a Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014) nisu propisane MDK za poljoprivredna tla i organska gnojiva te su izmjerene koncentracije uspoređene s vrijednostima za MDK (15 mg/kg) propisanim u starom Pravilniku (NN 15/1992). Koncentracija Mo najveća je u purećem stajskom gnojivu (5,27 mg/kg), no to još uvijek ne prelazi MDK. Nakon njega slijedi ovčji stajski gnoj (2,25 mg/kg), zatim

vermikompost br. 3 (2,14 mg/kg). Najmanju koncentraciju Mo sadrži uzorak vermikompost (0,72 mg/kg). Prema izmjerenim koncentracijama Mo svi analizirani uzorci mogu se koristiti izravno kao supstrat, kao organsko gnojivo ili kao sastavnica za proizvodnju supstrata.

Zbog povećanih koncentracija Zn i Cu smanjena je ekološka pogodnost vermikomposta br. 2, vermikomposta br. 3 i purećeg stajskog gnoja i zbog toga imaju ograničenu upotrebu. Ne smiju se upotrebljavati izravno kao supstrat, ali se mogu koristiti uz miješanje s tlom.

**Tablica 5.** Ukupne koncentracije Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Mo i Co u analiziranim organskim gnojivima

Oznaka uzorka	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Co (mg/kg)
Vermikompost	19.000	418	106	34	27	0,72	6,92
Vermikompost br. 2 (2005.)	9.464	354	272	46,0	-	-	-
Vermikompost br. 3 (int. uzorak)	13.790	677	360	73	17	2,14	5,31
Ovčji stajski gnoj (int. uzorak)	7.907	259	166	29	9	2,25	3,33
Pureći stajski gnoj (int. uzorak)	1.174	437	379	452	10	5,27	0,65

### 3.2.8. Ukupne koncentracije štetnih teških metala i metaloida (As, Cd, Cr, Hg i Pb)

Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014) propisane su maksimalno dopuštene koncentracije štetnih teških elemenata (Cd, Cr, Hg, Pb). Prema izmjerenim rezultatima u tablici 6 niz koncentracija štetnih teških elemenata je:

$$\text{Cr} > \text{Pb} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$$

U uzorku vermikompost nalazi se najviše Cr (30 mg/kg), što je niže od maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) za sastavnice za proizvodnju supstrata i organska gnojiva. Koncentracija Hg (0,0632 mg/kg) je najmanja od svih koncentracija štetnih teških elemenata izmjerenih u uzorku vermikomposta. Prema utvrđenim koncentracijama štetnih teških elemenata vermikompost se može koristiti kao supstrat i kao organsko gnojivo u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Koncentracije Cd u svim analiziranim uzorcima su niže od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) za organska gnojiva i za sastavnice za proizvodnju supstrata, što je prikazano u tablici 6. Koncentracije Cd kreću se u rasponu 0,49-0,68 mg/kg. Najveća koncentracija Cd nalazi se u ovčjem stajskom gnojivu (0,77 mg/kg), a najmanja koncentracija Cd u vermikompostu (0,49 mg/kg).

Koncentracije Cr u svim analiziranim uzorcima su niže od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) za organska gnojiva i za sastavnice za proizvodnju supstrata. Koncentracije Cr kreću se u rasponu od (11-42 mg/kg). Najveća koncentracija Cr nalazi se u vermikompostu br. 2 (42 mg/kg), a najmanje u ovčjem stajskom gnojivu (11 mg/kg). Prema utvrđenim koncentracijama Cr svi analizirani uzorci mogu se koristiti kao supstrati i kao organsko gnojivo u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Koncentracije Hg u svim analiziranim uzorcima su niže od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) za organska gnojiva i za proizvodnju supstrata. Koncentracije Hg kreću se u rasponu 0,0005-0,0632 mg/kg. Najveća koncentracija Hg izmjerena je u vermikompostu (0,0623 mg/kg), a najmanja u purećem stajskom gnojivu (0,0005 mg/kg). Prema utvrđenim koncentracijama Hg svi analizirani uzorci mogu se koristiti kao supstrati i kao organsko gnojivo u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Koncentracije Pb u svim analiziranim uzorcima su niže od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) za organska gnojiva i za sastavnice za proizvodnju supstrata. Koncentracije Pb kreću se u rasponu 0,2-18,9 mg/kg. Najveća koncentracija Pb izmjerena je u vermikompostu (18,9 mg/kg), a najmanja u purećem stajskom gnojivu (0,2 mg/kg). Prema utvrđenim koncentracijama Pb svi analizirani uzorci mogu se koristiti kao supstrati i kao organsko gnojivo u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Pravilnikom o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014) nisu propisane MDK za poljoprivredna tla i organska gnojiva, te su zato koncentracije As tumačene prema starom Pravilniku (NN 15/1992) u kojemu su bile propisane MDK za As (30 mg/kg). Izmjerene koncentracije u svim analiziranim uzorcima su niže od maksimalno dopuštenih koncentracija. Koncentracije As kreću se u rasponu 0,68-5,57 mg/kg. Najveća izmjerena koncentracija As je u vermikompostu (5,57 mg/kg) a najmanja u purećem stajskom gnojivu (0,68 mg/kg). Koncentracije As u svim analiziranim uzorcima su niže od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) za organska gnojiva i za sastavnice za proizvodnju supstrata. Koncentracije As kreću se u rasponu 0,68-5,57 mg/kg. Najveća koncentracija As je izmjerena u vermikompostu (5,57 mg/kg), a najmanja u vermikompostu

br. 2. Prema utvrđenim koncentracijama As svi analizirani uzorci mogu se koristiti kao supstrati i kao organsko gnojivo u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji.

Izmjerene koncentracije štetnih teških metala u svim analiziranim uzorcima organskih gnojiva ne prelaze maksimalno dopuštene koncentracije (MDK). Zato su svi analizirani uzorci organskih gnojiva prema koncentracijama štetnih teških metala pogodni za upotrebu u konvencionalnoj poljoprivredi.

**Tablica 6.** Ukupne koncentracije As, Cd, Cr, Hg i Pb u analiziranim organskim gnojivima

Oznaka uzorka	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Vermikompost	5,57	0,49	30	0,0632	18,9
Vermikompost br. 2 (Lončarić i sur., 2005.)	-	-	42	-	16,0
Vermikompost br. 3 (interni uzorak)	4,68	0,65	20	0,0282	10,1
Ovčji stajski gnoj (interni uzorak)	2,12	0,77	11	0,0319	18,0
Pureći stajski gnoj (interni uzorak)	0,68	0,68	21	0,0005	0,2

### 3.3. Biološka svojstva

Biološka svojstva vermikomposta su: intenzitet disanja, brojnost i vrste mikroorganizama i enzimatska aktivnost, a u ovom istraživanju analiziran je samo intenzitet disanja što predstavlja količinu CO<sub>2</sub> koja je izdvojena aktivnošću heterotrofnih mikroorganizama u vermikompostu.

#### 3.3.1. Intenzitet disanja

Mikroorganizmi najintenzivnije dišu u biološki nestabilnom vermikompostu, troše više kisika i izdvajaju više CO<sub>2</sub> nego u stabilnom vermikompostu. Zbog toga intenzitet disanja služi za ocjenu stabilnosti vermikomposta, odnosno organskih gnojiva. Vermikompost se smatra stabilnim kada je intenzitet disanja manji od 5 mg CO<sub>2</sub>-C/g/dan.

U vermikompostu intenzitet disanja je 3,37 mg CO<sub>2</sub>-C/g/dan što označava stabilan vermikompost, ali u usporedbi s ostalim analiziranim organskim gnojivima vermikompost je manje stabilan jer su intenziteti disanja u ostalim organskim gnojivima bili niži. U uzorku

vermikompost br. 3 intenzitet disanja je najmanji, 0,31 mg CO<sub>2</sub>-C/g/dan što označava najstabilniji vermikompost. Po stabilnosti slijedi vermikompost br. 2 i pureći stajski gnoj čiji su intenziteti disanja 1,20 mg CO<sub>2</sub>-C/g/dan, te ovčji stajski gnoj čiji je intenzitet disanja 1,79 mg CO<sub>2</sub>-C/g/dan (tablica 7).

**Tablica 7.** Intenzitet disanja analiziranih organskih gnojiva

Oznaka uzorka	Intenzitet disanja mg CO <sub>2</sub> -C/g/dan	Ocjena stabilnosti
Vermikompost	3,37	Stabilan
Vermikompost br. 2 (Lončarić i sur., 2005.)	1,20	vrlo stabilan
Vermikompost br. 3 (interni uzorak)	0,31	vrlo stabilan
Ovčji stajski gnoj (interni uzorak)	1,79	vrlo stabilan
Pureći stajski gnoj (interni uzorak)	1,20	vrlo stabilan

### 3.4. Ocjena fertilizacijske vrijednosti i ekološke pogodnosti vermikomposta

Fertilizacijska vrijednost vermikomposta, odnosno organskih gnojiva ocjenjuje se pomoću osnovnih i dopunskih fertilizacijskih vrijednosti gnojiva, ali uzimajući u obzir i limitirajuća svojstva. Limitirajuća svojstva uključuju različita fizikalna i kemijska svojstva koja mogu limitirati primjenu gnojiva ako loše utječu na visinu prinosa, plodnost ili kvalitetu prinosa (Lončarić i sur., 2015.). Osnovna vrijednost temelji se na koncentraciji N, P, K u organskom gnojivu, a dopunska vrijednost temelji se na C/N odnosu, odnosu amonijskog i nitratnog dušika te koncentraciji mikroelemenata (Fe, Mn, Zn, Cu i Mo). Ekološka pogodnost gnojiva uključuje utjecaj organskog gnojiva na povećanje biološke različitosti i elastičnosti tla, pretvorbu otpada u gnojivo, smanjivanje ispiranja, posebice teških metala (Lončarić i sur., 2015.). Kvalitetu organskih gnojiva možemo ocijeniti kao fertilizacijsku vrijednost i ekološku pogodnost te se zbog toga rezultati iz tablice 8 koriste pri ocjenjivanju kvalitete vermikomposta.

### 3.4.1. Fertilizacijska vrijednost vermikomposta i ostalih organskih gnojiva

Pokazatelji osnovne i dopunske fertilizacijske vrijednosti koriste se za procjenu fertilizacijske vrijednosti vermikomposta i ostalih organskih gnojiva. Fertilizacijska vrijednost temelji se na koncentracijama osnovnih hraniva (N, P, K), sekundarnih i mikrohraniva, te na C/N odnosu. Fertilizacijska vrijednost je metoda ocjenjivanja kvalitete organskih gnojiva, odnosno vermikomposta. Najveća je fertilizacijska vrijednost purećeg stajskog gnojiva (8,29). Vermikompost zbog niskog sadržaja osnovnih hraniva (N, P, K) ima nižu fertilizacijsku vrijednost od ostalih gnojiva analiziranih u ovom istraživanju (tablica 8).

**Tablica 8.** Fertilizacijske vrijednosti i ekološke pogodnosti analiziranih gnojiva

Oznaka uzorka	Vermi-kompost	Vermi-kompost br. 3 (interni)	Ovčji stajski gnoj	Pureći stajski gnoj	Referentne vrijednosti (raspon)
Osnovna fertilizacijska vrijednost	2,44	3,04	3,06	4,97	0-5
Dopunska fertilizacijska vrijednost	3,48	4,42	3,96	3,32	0-5
Ukupna fertilizacijska vrijednost	5,92	7,74	7,02	8,29	0-10
Ekološka pogodnost za gnojidbu <sup>1)</sup>	9,56	9,28	9,58	8,66	0-10
Ekološka pogodnost kao supstrat <sup>2)</sup>	7,79	0,00	7,89	0,00	0-10

<sup>1)</sup> ekološka pogodnost za aplikaciju u tlo kao gnojivo u konvencionalnoj poljoprivredi

<sup>2)</sup> ekološka pogodnost za izravnu upotrebu kao supstrat u konvencionalnoj poljoprivredi

### 3.4.2. Ekološka pogodnost za gnojidbu i za upotrebu kao supstrat

Ekološka pogodnost je metoda ocjenjivanja kvalitete organskih gnojiva. Ona uključuje utjecaj organskog gnojiva na smanjivanje ispiranja, posebice teških metala, povećanje biološke različitosti i elastičnosti tla te pretvorbu otpada u gnojivo. U ovom istraživanju ekološka je pogodnost prikazana na temelju koncentracija štetnih elemenata.

Svi analizirani uzorci su ekološki pogodni za uporabu kao gnojiva u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji jer su sve ukupne koncentracije teških metala ispod MDK. Ocjene za ekološku pogodnost analiziranih uzoraka za uporabu kao supstrata bez miješanja s drugim komponentama su nešto niže. Ipak, i te su ocjene visoke (gotovo 60-70% maksimalnih vrijednosti), osim za uzorke vermikompost br. 3 i pureći stajski gnoj. Vermikompost br. 3 ima previsoku koncentraciju Zn, a pureći stajski gnoj previsoke



koncentracije Zn i Cu te zbog toga nisu ekološki pogodni za izravnu upotrebu kao supstrat bez miješanja s drugim komponentama.

## 4. ZAKLJUČAK

Cilj istraživanja bio je kroz niz fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava ocijeniti kvalitetu vermikomposta.

U analiziranom vermikompostu izmjereno je 47,50 % vode i 52,50 % suhe tvari. Izmjerena vlažnost je u prihvatljivom rasponu za organska gnojiva (optimalni raspon 50-60 %). Sadržaj organske tvari je 35,45 % što znači da je gotovo dvostruko veći sadržaj pepela (mineralne tvari).

Izmjerena pH vrijednost je povišena što ukazuje na alkalnu reakciju i odstupa od optimalnog raspona pH vrijednosti za organska gnojiva (6,5-8,0). Povišen pH je posljedica nešto povišenog  $\text{NH}_4^+/\text{N}/\text{NO}_3^-/\text{N}$  odnosa te povećane koncentracije Ca (54,84 mg/kg). Povećana koncentracija Ca objašnjava alkalnu reakciju te je vermikompost pogodan za kiselija tla. Vrijednost konduktiviteta je niska 0,737 i ukazuje na manji udio topivih soli i vrlo malu vjerojatnost fitotoksičnosti učinka vermikomposta na osjetljive biljne vrste.

C/N odnos je visok (53,87) i ukazuje kako vermikompost nije potpuno zrelo gnojivo. Odnos  $\text{NH}_4^+/\text{N}/\text{NO}_3^-/\text{N}$  je blago povišen i takav odnos ukazuje da proces nitrifikacije nije potpuno završen te da vermikompost nije potpuno zrelo gnojivo.

Prema izmjerenim koncentracijama osnovnih hraniva vermikompost je umjereno opskrbljen s N, P i K.

Intenzitet disanja je 3,37 mg  $\text{CO}_2$ -C/g/dan što označava stabilan vermikompost, ali ipak ne u najvišoj klasi stabilnosti.

Zbog osrednjih koncentracija N i P osnovna fertilizacijska vrijednost je osrednja. Dopunska fertilizacijska vrijednost temelji se na C/N odnosu,  $\text{NH}_4^+/\text{N}/\text{NO}_3^-/\text{N}$  odnosu i koncentracijama mikroelemenata (Fe, Mn, Zn, Cu i Mo). Ocjena dopunske vrijednosti je srednja zbog visokog C/N odnosa i blago povišenog  $\text{NH}_4^+/\text{N}/\text{NO}_3^-/\text{N}$  odnosa. Ukupna fertilizacijska vrijednost vermikomposta kao organskog gnojiva je također osrednja (5, 92), zbog osrednje osnovne i dopunske vrijednosti.

Ekološka pogodnost organskog gnojiva temelji se na ukupnim koncentracijama štetnih elemenata. Koncentracije štetnih elemenata u analiziranom vermikompostu su značajno ispod maksimalno dopuštene koncentracije (MDK) te iz toga razloga vermikompost ima vrlo dobru ocjenu ekološke pogodnosti. Može se koristiti izravno kao

supstrat, izravno kao organsko gnojivo i kao komponenta za proizvodnju supstrata u konvencionalnoj poljoprivrednoj proizvodnji.

## 5. POPIS LITERATURE

1. Albanell, E., Plaixats, J., Cabrero, T. (1988.): Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biology and Fertility of Soils* 6: 266-269.
2. Atiyeh, R.M., Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Metzger, J.D. (2002.): The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds. *Bioresource Technology* 81: 103-108.
3. Beline, F., Martinez, J. (2002.): Nitrogen transformations during biological aerobic treatment of pig slurry: effect of intermittent aeration on nitrous oxide emissions. *Bioresource Technology* 83: 225-228.
4. Cesoniene, L., Rutkoviene, V. (2008.): Investigations of nutrients availability from organic fertilizers in model soil systems. *Cereal Research Communications*, 36: Supplement. 2031-2034.
5. Edwards, C.A., Burrows, I. (1988.): The potential of earthworm composts as plant growth media. In: Edwards, C.A., Neuhauser, E. (eds.): *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Press, The Hague, The Netherlands: 21-32 pp
6. EN (2001.): Soil improvers and growing media – Extraction of water soluble nutrients and elements. European standard EN 13652. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 15.
7. EN (2003.): Determination of Kjeldahl Nitrogen in soil, biowaste and sewage sludge. European standard EN 13654-1. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 17.
8. EN (2007.): Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. European standard EN 13040. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 17.
9. EN (2009.): Soil improvers and growing media – Determination of electrical conductivity. European standard EN 13038. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 4.
10. EN (2011.a): Soil improvers and growing media – Determination of pH. European standard EN 13037. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 8.

11. EN (2011.b): Soil improvers and growing media – Determination of organic content and ash. European standard EN 13039. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 8.
12. Epstein, E. (1997.): The science of composting. Technomic Publishing Company. Lancaster, Pennsylvania, USA. 487.
13. Hartenstein, R., Hartenstein, F. (1981.): Physicochemical changes in activated sludge by the earthworm *Eisenia foetida*. Journal of Environmental Quality 10, 377-382.
14. Iannotti, D.A., Pang, T., Toth, B.L., Elwell, D.L., Keener, H.M., Hoitink, H.A.J. (1993.): A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. Compost Sci. Utilization 1: 52-65.
15. Kuo, S., Ortiz-Escobar, M.E., Hue, N.V., Hummel, R.L. (2004.): Composting and compost utilization for agronomic and container crops. Recent Res. Devel. Environmental Biology, 1:451-513.
16. Lončarić, Z., Parađiković, N., Popović, B., Lončarić, R., Kanisek, J. (2015.): Gnojdba povrća, organska gnojiva i kompostiranje. Poljoprivredni fakultet Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek. 123.
17. Lončarić, Z., Vukobratović, M., Popović, B., Karalić, K., Vukobratović, Ž. (2009.a): Computer model for evaluation of plant nutritional and environment values of organic fertilizers. Cereal Research Communications. 37 (Supplement 1): 617-620.
18. Lončarić, Z., Vukobratović, M., Ragalyi, P., Filep, T., Popović, B., Karalić, K., Vukobratović, Ž. (2009.b): Computer model for organic fertilizer evaluation. Poljoprivreda. 15 (2): 38-46.
19. Lončarić, Z., Engler, M., Karalić, K., Bukvić, G., Lončarić, R., Kralik, D. (2005.): Ocjena kvalitete vermikompostiranog goveđeg stajskog gnoja. Poljoprivreda. 11 (1): 57-63.
20. Ministarstvo poljoprivrede (2014.): Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja. Narodne novine 9/2014. Narodne novine d.d., Zagreb.
21. Moldes, A., Cendon, Y., Barral, M.T. (2007.): Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media componenet, by applying mixture design. Bioresource Technology 98: 3069-3075.
22. Svrze, M. (2005.): Evaluacija kvalitete komposta. Diplomski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.

23. Thompson, W.H. (ed.) (2001.): Test Methods for the Examination of Composting and Compost. The United States Composting Council Research and Education Foundation. The United States Department of Agriculture.
24. Vukobratović, M. (2008.): Proizvodnja i ocjena kvalitete kompostiranih stajskih gnojiva. Doktorski rad. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Poljoprivredni fakultet u Osijeku. Osijek.
25. Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., de Bertoldi, M. (1981.): Evaluating toxicity of immature compost. BioCycle 22: 54-57.